

**Verfahren zur Bestimmung reifeneigenschaftsabhängiger Erkennungsschwellen zur verbesserten Erkennung eines Reifenluftdruckverlustes in einem indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystem**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren gemäß Oberbegriff von Anspruch 1, sowie ein Computerprogrammprodukt gemäß Anspruch 5.

Eine zuverlässige Überwachung des Reifenluftdrucks ist für die Sicherheit des Fahrzeuges von großer Bedeutung. Es existieren verschiedene Ansätze, wie die Reifendrucküberwachungssysteme realisiert werden können. Die ersten basieren auf einer direkten Druckmessung im Reifen (TPMS). Solche, z. B. aus der DE 199 38 431 C2 bekannten, direkt messenden Reifendrucküberwachungssysteme (TPMS) überwachen den Reifenluftdruck an allen Rädern mittels in oder an den Fahrzeugrädern bzw. Reifen angebrachten Druckmodulen. Hierbei messen die Druckmodule den jeweiligen Reifenluftdruck oder einen dem Reifenluftdruck proportionalen Wert. Üblicherweise werden die von den Druckmodulen gemessenen Reifenluftdrücke von mit den Druckmodulen verbundenen Sendern an einen oder mehrere am Fahrzeug angeordnete Empfänger mit einer nachgeschalteten Auswerteeinheit gesendet. Durch diese direkte Messung ist das System (TPMS) unabhängig von den Reifeneigenschaften (Reifendurchmesser, Reifenbreite, Sommer-/Winterreifen, etc.). Das direkt messende Reifendrucküberwachungssystem (TPMS) kann einen Reifenluftdruckverlust daher mit einer hohen Genauigkeit bzw. engen Erkennungsschwellen erkennen. Nachteilig an diesem System (TPMS) ist, dass zusätzliche Einrichtungen wie z. B. Druckmodule, Send- und Empfangseinrichtungen, Auswerteeinheit, etc. benö-

tigt werden, wodurch dieses System (TPMS) teuer und, aufgrund der Vielzahl der zusätzlichen Einrichtungen, fehleranfällig ist.

Ein weiteres, auf einer indirekten Druckmessung basierendes System, beispielsweise in DE 100 58 140 A1 beschrieben, wertet zur Erkennung eines Druckverlustes die Raddrehzahlen oder den Raddrehzahlen proportionale Größen der einzelnen Räder aus. Solche indirekt messenden Reifendrucksysteme sind billig und zuverlässig, da sie meist die bereits in den Fahrzeugen vorhandenen Raddrehzahlsensoren eines Anti-Blockier-Systems (ABS) zur Ermittlung der Raddrehzahlen benutzen. Nachteilig an diesem System ist, dass die Raddrehzahlen stark von den Reifeneigenschaften abhängig sind. Um auch bei unterschiedlichen Reifen, z. B. beim Wechsel von üblicherweise breiten Sommerreifen auf schmalere Winterreifen, keine den Fahrzeugführer irritierenden Fehlwarnungen zu erzeugen, werden die Erkennungsschwellen hinsichtlich eines Reifenluftdruckverlustes weiter gewählt. Hierdurch wird dem Fahrzeugführer ein Reifenluftdruckverlust allerdings erst relativ spät angezeigt.

Ferner sind z. B. aus DE 100 60 392 A1 auch kombinierte Systeme bekannt, welche sowohl ein direkt messendes Reifen-drucküberwachungssystem als auch ein indirekt messendes Reifendrucküberwachungssystem aufweisen. In solchen kombinierten Systemen wird beispielsweise das indirekt messende Reifendrucküberwachungssystem dazu benutzt, um die Druckmodule in den Rädern einer Einbauposition, z. B. Druckmodul „1“ befindet sich an der Einbauposition „Rad vorne links“; Druckmodul „2“ befindet sich an der Einbauposition „Rad hinten rechts“, etc., zuzuweisen.

Aufgabe der Erfindung ist, es ein Verfahren bereitzustellen, welches das indirekt messende Reifendrucküberwachungssystem in einem kombinierten System dahingehen verbessert, dass eine Anpassung der Erkennungsschwellen abhängig von den Reifeneigenschaften erfolgt, wodurch dem Fahrzeugführer ein Reifenluftdruckverlust frühzeitig angezeigt wird.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst.

Normalerweise ist die Gummimischung von Sommerreifen härter als die Gummimischung von Winterreifen, d. h., dass Sommerreifen eine höhere Steifigkeit der Gummimischung aufweisen als Winterreifen. Aus diesem Grund zeigen Sommerreifen größere Änderungen des Reifenabrollumfangs bei einer Druckänderung als Winterreifen. Bei sogenannten Breitreifen ist ebenfalls die Änderung des Reifenabrollumfangs bei einer Druckänderung größer als bei schmalen Reifen.

Erfindungsgemäß werden unter dem Begriff „Raddrehzahlsignal“ sowohl die Raddrehzahl an sich, als auch von der Raddrehzahl abhängige Größen, wie beispielsweise die Radschwindigkeit oder der Abrollumfang des Rades, verstanden. Ferner soll unter dem Begriff „Raddrehzahlsignal“ auch eine Zeit verstanden werden, welche benötigt wird, um einen bestimmten Weg, beispielsweise ein Weg, welcher ein oder mehreren Radumdrehungen entspricht, zurückzulegen. Dieser Weg kann auch von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängig sein, indem bei unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten unterschiedliche Zeiten für identische oder verschiedene Wege als Grundlage für die Berechnung verwendet werden. Beispielsweise wird bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h die Zeit gemessen, welche für zwei Radumdrehungen benötigt wird, während bei einer Fahrzeuggeschwindigkeit von

100 km/h die Zeit gemessen wird, welche für fünf Radumdrehungen benötigt wird.

Unter dem Begriff „Beiwert  $k$ “ soll erfindungsgemäß ein Wert verstanden werden, welcher die Reifeneigenschaften, wie z. B. Reifendurchmesser, Reifenbreite, Sommer-/Winterreifen, etc., eines oder mehrerer Fahrzeugreifen beschreibt. Der Beiwert  $k_{VL}$  steht hierbei für die Reifeigenschaften des Rades vorne links, der Beiwert  $k_{VR}$  für die Reifeneigenschaften des Rades vorne rechts, der Beiwert  $k_{HL}$  für die Reifeneigenschaften des Rades hinten links und der Beiwert  $k_{HR}$  für die Reifeneigenschaften des Rades hinten rechts.

Vorzugsweise wird der Beiwert  $k$  aus der Raddrehzahl  $n$ , insbesondere der relativen Raddrehzahländerung  $\Delta n/n$ , und dem direkt gemessenen Reifenluftdruck  $P$ , insbesondere der relativen Reifendruckänderung  $\Delta P/P_{soll}$ , bestimmt.

Ganz besonders bevorzugt erfolgt die Bestimmung des Beiwertes  $k$  durch eine lineare Funktion, in welcher im wesentlichen die relative Raddrehzahländerung  $\Delta n/n$  gleich dem Produkt aus dem Beiwert  $k$  und der relativen Reifendruckänderung  $\Delta P/P_{soll}$  ist.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt die Einstellung des Sollreifenluftdrucks  $P_{soll}$  durch den Fahrzeugführer.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird mittels des direkt messenden Reifendrucküberwachungssystems (TPMS) überprüft, ob der Sollreifenluftdruck  $P_{soll}$  eingestellt ist.

Vorteilhafterweise wird das erfindungsgemäße Verfahren durch das manuelle Betätigen, bevorzugt durch den Fahrzeugführer, einer Auslöseeinrichtung gestartet. Bevorzugt handelt es sich bei der Auslöseeinrichtung um einen Schalter oder Taster.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens gehen aus den Unteransprüchen hervor. Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels beschrieben.

Bei dem indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystem werden Informationen über die Radgeschwindigkeiten bzw. die Abrollumfänge der Räder durch Auswertung von Raddrehzahlsensoren ermittelt. Diese Raddrehzahlsensoren sind in vielen modernen Fahrzeugen bereits verbaut um z. B. Raddrehzahlinformationen für ein Anti-Blockier-System (ABS) bereitzustellen. Die Änderung des Radabrollumfangs hängt hierbei von dem Reifenluftdruck und von den Reifeneigenschaften (Reifendruckmesser, Reifenbreite, Gummigemischeseigenschaften, Karkassensteifigkeit etc.) ab. Durch die Betrachtung und Auswertung der Abrollumfänge der Räder werden Kriterien für einen Reifenluftdruckverlust festgelegt. Hierzu sind u. a. Erkennungsschwellen notwendig bei deren Über- bzw. Unterschreitung auf einen Reifenluftdruckverlust erkannt wird. Die Erkennungsschwellen sind hierbei abhängig von den Reifeneigenschaften bzw. dem auf den Rädern montierten Reifentyp. Die Erkennungsschwellen und die Empfindlichkeit des indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystems werden so angepasst, dass einerseits ein Reifenluftdruckverlust in allen für das Fahrzeug zugelassenen Reifentypen erkannt wird, und andererseits keine Fehlwarnungen gegeben werden. Diese Anpassung erfolgt durch Auswertung der

Messergebnisse eines oder mehrerer Druckmodule des direkt messende Reifendrucküberwachungssystems (TPMS).

Das indirekt messende Reifendrucküberwachungssystem basiert, wie oben gesagt, auf Raddrehzahlsensoren. Diese Raddrehzahlsensoren sind fest einem Rad (Rad vorne links, Rad vorne rechts, Rad hinten links, Rad hinten rechts) zugeordnet. Hierdurch ist bekannt, von welchem Rad die betreffende Drehzahlinformation (z. B.  $n_{VL}$ : Drehzahl des Rades vorne links) stammt. Weiterhin sind bereits Verfahren bekannt (z. B. aus DE 100 60 392 A1), um auch die in oder an den Rädern angebrachten Druckmodule des direkt messenden Reifendrucküberwachungssystems (TPMS) zu lokalisieren. Durch diese bekannten Verfahren können direkt gemessene Reifenluftdrücke einem Rad zugeordnet werden (z. B.  $P_{VL}$ : Reifenluftdruck des Rades vorne links).

Bei dem beispielgemäßen Verfahren werden die folgenden Schritte durchgeführt:

1. Erfassen von Raddrehzahlsignalen  $n$  der Fahrzeugräder,
2. Erfassen von direkt gemessenen Reifenluftdrücken  $P$ ,
3. Einlernen mindestens eines Referenzwerts in Abhängigkeit der erfassten Raddrehzahlsignale  $n$  bei einem vorgegebenen Sollreifenluftdruck  $P_{soll}$ ,
4. Ermitteln eines Beiwerts  $k$ , welcher die Reifeneigenschaften der Fahrzeugreifen beschreibt, aus Raddrehzahländerungen  $\Delta n$  bei einer Reifenluftdruckänderung  $\Delta P$ , und
5. Bestimmen einer reifeneigenschaftsabhängigen Erkennungsschwelle  $S$  zur verbesserten Erkennung eines Reifenluftdruckverlustes aus dem ermittelten Beiwert  $k$ , einem festgelegten kritischen Reifenluftdruckverlust

$\Delta P_{krit}$ , welcher einen Reifenluftdruckwert beschreibt bei dessen Unter- bzw. Überschreitung eine Warnung hinsichtlich eines Reifenluftdruckverlustes an den Fahrzeugführer ausgegeben werden soll, und einem vorgegebenen Sollreifenluftdruck  $P_{soll}$ .

Zur Durchführung des beispielgemäßen Verfahrens ist es notwendig, dass alle Reifen des Fahrzeugs den vorgeschriebenen Sollreifenluftdruck, z. B. 2,0 bar, aufweisen. Hierzu wird beispielsweise jeder Reifen manuell, z. B. durch den Fahrzeugführer, auf den vom Fahrzeughersteller vorgeschriebenen Sollreifenluftdruck gebracht (z. B.  $P_{sollVL} = P_{sollVR} = P_{sollHL} = P_{sollHR} = 2,0$  bar). Alternativ kann auch der vorliegende Reifenluftdruck von dem direkt messenden Reifendrucküberwachungssystem (TPMS) dahingehend überprüft werden, ob der vorliegende Reifenluftdruck dem Sollreifenluftdruck entspricht. Anschließend wird das beispielgemäße Verfahren z. B. durch die Betätigung eines Resettasters gestartet. In der sogenannten Einlernphase werden die Referenzwerte, z. B. DIAG, SIDE, AXLE des indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystems aus den Raddrehzahlen  $n$  eingelernt und abgespeichert.

$$\begin{aligned} \text{DIAG} &= \frac{n_{VL} + n_{HR}}{n_{VR} + n_{HL}} - 1 = \frac{n_{VL} + n_{HR} - n_{VR} - n_{HL}}{n_{VR} + n_{HL}}, \\ \text{SIDE} &= \frac{n_{VL} + n_{HL}}{n_{VR} + n_{HR}} - 1 = \frac{n_{VL} + n_{HL} - n_{VR} - n_{HR}}{n_{VR} + n_{HR}}, \\ \text{AXLE} &= \frac{n_{VL} + n_{VR}}{n_{HL} + n_{HR}} - 1 = \frac{n_{VL} + n_{VR} - n_{HL} - n_{HR}}{n_{HL} + n_{HR}}, \end{aligned} \quad (1)$$

$n_{VL}$ ,  $n_{VR}$ ,  $n_{HL}$ ,  $n_{HR}$  sind die Raddrehzahlen der Räder „Vorne Links“, „Vorne Rechts“, „Hinten Links“ und „Hinten Rechts“ bei einem Sollreifenluftdruck  $P_{soll}$ .

Nach Abschluss der Einlernphase werden die Änderungen mindestens eines Referenzwerts, z. B.  $\Delta DIAG$  bezüglich des eingelernten Wertes ermittelt, z. B.:

$$\Delta DIAG = \frac{\Delta n_{VL} + \Delta n_{HR} - \Delta n_{VR} - \Delta n_{HL}}{n_{VR} + n_{HL}}, \quad (2)$$

Hierbei hängen die einzelnen Raddrehzahländerungen  $\Delta n$  im wesentlichen von der Reifenluftdruckänderungen  $\Delta P$  der zugehörigen Räder ab.

Die Raddrehzahländerungen  $\Delta n$  sind klein und in einer ersten Näherung den Druckänderungen  $\Delta P$  proportional:

$$\frac{\Delta n}{n} \approx k \cdot \frac{\Delta P}{P_{soll}} \quad (3)$$

$\Delta P / P_{soll} = (P_{ist} - P_{soll}) / P_{soll}$ , (z. B.  $\Delta P_{VL} / P_{sollVL} = (P_{istVL} - P_{sollVL}) / P_{sollVL}$ ; mit  $P_{istVL}$ : gemessener Istreifenluftdruck vom Rad vorne links;  $P_{sollVL}$ : beim Lernen eingestellter Sollreifenluftdruck vom Rad vorne links). Die Änderung des Referenzwertes (z. B.  $\Delta DIAG$ ) ist eine lineare Kombination der Druckänderungen, z. B.:

$$\Delta DIAG = k_{VL} \cdot \frac{\Delta P_{VL}}{P_{sollVL}} + k_{HR} \cdot \frac{\Delta P_{HR}}{P_{sollHR}} - k_{VR} \cdot \frac{\Delta P_{VR}}{P_{sollVR}} - k_{HL} \cdot \frac{\Delta P_{HL}}{P_{sollHL}} \quad (4)$$

Nach N Reifendruckänderungen sind im System N Referenzwerte, hier  $\Delta DIAG$ -Werte, und N  $\Delta P / P_{soll}$ -Werte vorhanden. Auf der Basis der Regressionsmethode (Methode der kleinsten Quadrate) werden die Beiwerte  $k_{VL}$ ,  $k_{VR}$ ,  $k_{HL}$ ,  $k_{HR}$  kalkuliert. Je größer N ist, desto genauer werden die Beiwerte  $k_{VL}$ ,  $k_{VR}$ ,  $k_{HL}$ ,  $k_{HR}$  kalkuliert, deswegen werden die Beiwerte  $k_{VL}$ ,  $k_{VR}$ ,  $k_{HL}$ ,  $k_{HR}$  nach jeder neuen Reifenluftdruckänderung neu be-



rechnet. Wenn die Beiwerte  $k_{VL}$ ,  $k_{VR}$ ,  $k_{HL}$ ,  $k_{HR}$  für jedes Rad separat ermittelt wurden, werden die Erkennungsschwellen  $S$  für das indirekt messende Reifendrucküberwachungssystem abhängig von den Beiwerten  $k_{VL}$ ,  $k_{VR}$ ,  $k_{HL}$ ,  $k_{HR}$  für jedes Rad bestimmt. Hierzu wird ein kritischer Reifenluftdruckverlust  $\Delta P_{krit}$ , z. B.  $\Delta P_{krit}=0,5$  bar, oder z. B.  $\Delta P_{krit}/P_{soll} = 25\%$ , definiert, bei dessen Überschreitung eine Warnung an den Fahrzeugführer gegeben werden soll. In diesem Beispiel wurde von einem Sollreifenluftdruck von  $P_{soll} = 2,0$  bar ausgegangen, und es soll somit bei Unterschreitung eines Istreifenluftdrucks von  $P_{ist} = P_{soll} - \Delta P_{krit} = 2,0 \text{ bar} - 0,5 \text{ bar} = 1,5 \text{ bar}$  eine Warnung ausgegeben werden. Unter Berücksichtigung der Gleichung (4) ergibt sich somit zumindest ein kritischer Referenzwert, hier  $(\Delta DIAG_{krit})_{xy}$ , für das Rad „xy“ von:

$$(\Delta DIAG_{krit})_{xy} = k_{xy} \cdot \frac{\Delta P_{krit}}{P_{soll}} \quad (5)$$

Da bei Überschreitung des kritischen Referenzwerts, hier  $\Delta DIAG_{krit}$ , der Fahrzeugführer gewarnt werden soll, folgt somit für die Erkennungsschwelle  $S$  für das Rad „xy“:

$$S_{xy} < |(\Delta DIAG_{krit})_{xy}| \quad (6)$$

Wenn alle Räder gleiche oder fast gleiche Eigenschaften aufweisen, kann das Annäherungsverhältnis benutzt werden:

$$k \approx k_{VL} \approx k_{VR} \approx k_{HL} \approx k_{HR} \quad (7)$$

Wenn die Räder unterschiedliche Beiwerte aufweisen, so wird ein aus den unterschiedlichen Beiwerten gemittelter Beiwert für die weiteren Berechnungen verwendet.

Aus den Gleichungen (6) und (7) lässt sich somit die Erkennungsschwelle  $S$  des indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystems unter Berücksichtigung der Reifeneigenschaften (dargestellt durch den Beiwert  $k$ ) bestimmen:

$$S < \left| k \cdot \frac{\Delta P_{krit}}{P_{soll}} \right| \quad (8)$$

Bei manchen Fahrzeugtypen besteht auch die Möglichkeit, dass der Reifentyp (z. B. Sommer-, Winter-, oder Ganzjahresreifen) und die Reifendimensionen (z. B. Breite, Höhe, Felgendurchmesser) über eine spezielle Funktion einer Multifunktionsanzeige oder in der Werkstatt z. B. über die Fahrzeugsdiagnose eingegeben werden können. Diese Informationen (Reifentyp, Reifendimensionen) können dem indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystem übermittelt werden. Aufgrund dieser Informationen passt das indirekt messende Reifendrucküberwachungssystem die Erkennungsschwellen hinsichtlich eines Reifendruckverlusts im Hinblick auf den vorliegenden Reifentyp und die Reifendimensionen an.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Informationen über den Reifentyp und die Dimensionen von einer eingebauten Einheit im Reifen, z. B. von einem magnetischen Barcodeträger oder von einer Sendeeinheit, z. B. einem Transponder, auszulesen.

Die Erkennungsschwellen und andere Parameter von Reifendruckkontrollsystemen können abhängig von den übermittelten Reifenparametern kalkuliert werden. Beispielsweise wird die Erkennungsschwelle  $S$  nach folgender Gleichung bestimmt:

$$S = S_0 \cdot A \cdot B \quad (9)$$

mit

$S_0$ : Normalerkennungsschwelle, welche eine Erkennungsschwelle für einen festgelegten Reifentyp mit festgelegten Dimensionen beschreibt,

A: eine Funktion des Reifentyps (Winterreifen, Sommerreifen, Ganzjahresreifen u.s.w.), B: eine Funktion der Reifendimensionen (z. B. Breite).

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, eine Datenbank der Reifen und der zugehörigen Parameter des Reifendrucküberwachungssystems in einem Fahrzeugsteuergerät, beispielsweise in der elektronischen Bremsensteereinheit (ECU), abzuspeichern.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Bestimmung reifeneigenschaftsabhängiger Erkennungsschwellen zur verbesserten Erkennung eines Reifenluftdruckverlustes in einem indirekt messenden Reifendrucküberwachungssystem, **gekennzeichnet durch** die Schritte:
  - Erfassen von Raddrehzahlsignalen (n) der Fahrzeugräder,
  - Erfassen von mindestens einem direkt gemessenen Reifenluftdruck (P),
  - Einlernen von mindestens einem Referenzwert in Abhängigkeit der erfassten Raddrehzahlsignale (n) bei einem vorgegebenen Sollreifenluftdruck ( $P_{soll}$ ),
  - Ermitteln von mindestens einem Beiwert (k), welcher die Reifeneigenschaften mindestens eines Fahrzeugreifens beschreibt, aus Raddrehzahländerungen ( $\Delta n$ ) bei einer Reifenluftdruckänderung ( $\Delta P$ ), und
  - Bestimmen mindestens einer reifeneigenschaftsabhängigen Erkennungsschwelle (S) zur verbesserten Erkennung eines Reifenluftdruckverlustes aus dem ermittelten Beiwert (k), einem festgelegten kritischen Reifenluftdruckverlust ( $\Delta P_{krit}$ ), welcher einen Reifenluftdruckwert beschreibt bei dessen Unter- bzw. Überschreitung eine Warnung hinsichtlich eines Reifenluftdruckverlustes an den Fahrzeugführer ausgegeben werden soll, und einem vorgegebenen Sollreifenluftdruck ( $P_{soll}$ ).
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Einlernen des mindestens einen Referenzwerts erst nach Betätigung einer Auslöseeinrichtung, welche das Befüllen der Fahrzeugreifen mit dem vorgegebenen Sollreifenluftdruck ( $P_{soll}$ ) anzeigt, durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der direkt gemessene Reifenluftdruck (P) mittels Druckmodule, welche in oder an dem Reifen bzw. dem Rad angeordnet sind, erfasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der mindestens eine Referenzwert gemäß mindestens einer der Formeln

$$DIAG = \frac{n_{VL} + n_{HR}}{n_{VR} + n_{HL}} - 1, \text{ oder}$$

$$SIDE = \frac{n_{VL} + n_{HL}}{n_{VR} + n_{HR}} - 1, \text{ oder}$$

$$AXLE = \frac{n_{VL} + n_{VR}}{n_{HL} + n_{HR}} - 1$$

aus den Raddrehzahlen ( $n_{VL}$ ,  $n_{HL}$ ,  $n_{VR}$ ,  $n_{HR}$ ) der einzelnen Räder (VL, HL, VR, HR) bei einem definierten Sollreifenluftdruck ( $P_{soll}$ ) bestimmt wird.

5. Computerprogrammprodukt, dadurch gekennzeichnet, dass dieses einen Algorithmus definiert, welcher ein Verfahren gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 4 umfasst.